VERZERRUNGSMESSUNG BEI MITTELOHROPERIERTEN

INAUGURAL–DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von

Ralph Peter GRIMM
aus Lüneburg

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546501_0027

VERZERRUNGSMESSUNG BEI MITTELOHROPERIERTEN

INAUGURAL–DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von

Ralph Peter GRIMM
aus Lüneburg

1980

Angefertigt mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof.Dr.H.J.Opitz

2. Gutachter: Prof.Dr.G.Fricke

Aus der Hals-, Nasen- und Ohrenklinik

der Universität Bonn

Direktor: Prof.Dr.W.Becker

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Druck: M.Wehle, Hauptstrasse 240, 5305 Witterschlick

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung und Problemstellung	5
2.	Tympanoplastik und Stapesplastik	7
	2.1.1 Tympanoplastik Typ I	7
	2.1.2 Tympanoplastik Typ II	8
	2.1.3 Tympanoplastik Typ III	8
	2.1.4 Tympanoplastik Typ IV	9
	2.1.5 Tympanoplastik Typ V	9
	2.2 Stapesplastik	1o
3.	Akustische Verzerrungen	11
	3.1 Entstehungsort der Verzerrungen	12
	3.2 Differenztöne	13
	3.3 Obertöne	14
4.	Methode der "best beats"	16
	4.1 Versuchsaufbau	17
5.	Ergebnisse	18
	5.1 Meßergebnisse von Normalpersonen	18
	5.2 Meßergebnisse bei Patienten nach Tympanoplastik Typ I	22
	5.3 Ergebnisse von Patienten mit Tympanoplastik Typ III	28
	5.3.1 Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen	28
	5.3.2 Ergebnisse bei präoperativ gemessenen Patienten	34
	5.3.3 Amboßinterposition auf Stapesfußplatte	35
	5.4 Messung von Patienten mit Stapesoperation	36

		Seite
6.	Diskussion	39
7.	Zusammenfassung	41
8.	Literaturverzeichnis	42

1. Einleitung und Problemstellung

Der Hörvorgang ist gekennzeichnet durch das zentrale Verarbeiten von periodischen und nicht periodischen Schwingungen. Diese Schwingungen treffen in Form von Klängen und Geräuschen auf das Ohr. Durch die Nichtlinearität des Hörorgans erfahren diese Tongemische eine qualitative Änderung durch das Auftreten von akustischen Verzerrungen.

Die Verzerrungen werden gebildet durch Obertöne, Differenztöne und Kombinationstöne, auch subjektive Töne genannt, da sie objektiv im Schallfeld nicht vorhanden sind. Diese Töne sind den Musikern seit über 200 Jahren bekannt (ZWICKER, 1955). Entdeckt wurden sie 1740 von dem Thüringer Organist Georg Andreas Sorge und von dem italienischen Geiger Tartini 1754 (SORGE, 1932; KUHL, 1939).

Bei einer Intensitätsschwelle unterhalb von 45 dB arbeitet das Gehör linear (LEHNHARDT, 1965), auftreffende reine Sinusschwingungen werden als solche übertragen. Das Hooke'sche Gesetz hat Geltung, das die Steifigkeit eines linearen Systems als von der einwirkenden Kraft abhängig beschreibt (MOE, 1942). Wenn die Auslenkung des Schwingungsmittelpunktes durch Erhöhung der einwirkenden Kraft eine Entfernung von der Ruhelage jenseits einer bestimmten Grenze erfährt, verliert das Gesetz seine Geltung: die lineare Übertragungsweise ist nicht mehr gegeben, das Gehör überträgt mit Verzerrungen (NEWMAN, STEVENS und DAVIS, 1937).

Bei durch Krankheit oder Trauma geschädigtem Ohr ist die Tympanoplastik und die Stapesplastik, entwickelt seit 1958, das Therapiemittel der Wahl (STEURER, 1969). Die Tympanoplastik soll nicht nur einer weiteren Hörverschlechterung vorbeugen, sondern die dauerhafte Hörverbesserung anstreben (WULLSTEIN, 1949).

ZÖLLNER schreibt über die Indikation zur Operation: "Die Methoden der Tympanoplastik haben nicht nur die Möglichkeit geschaffen, bei notwendigen und lebensrettenden Eingriffen die Hörfunktion schonender als bisher zu wahren oder zu verbessern, sondern darüberhinaus die Indikation bei chronischen Eiterungen wesentlich zu erweitern" ... "Darüberhinaus kann einer großen Zahl von Patienten mit Schwerhörigkeit infolge von Narben und Defekten des Mittelohres geholfen

werden, die man bisher unbehandelt lassen mußte. Dies ist ein revolutionierender Erfolg der Tympanoplastik." (ZÖLLNER in BERENDES, LINK, ZÖLLNER, HNO-Heilkunde, Bd.III, 1966, S.1232, 1233). Die von WULLSTEIN und ZÖLLNER angegebene Erfolgsquote von 50 bis 60 % wird sich inzwischen erhöht haben (ECKHART, 1968).

Bei der Beurteilung der Ergebnisse der Tympanoplastik gehen als Imponderabilien ein: Unterschiede in der Technik, Erfahrung der Operateure, Auswahl der Fälle in Veröffentlichungen und differente Auswertungsmethoden.

Zur Beurteilung des postoperativen Ergebnisses steht allgemein die Tonaudiometrie zur Verfügung, daneben auch andere Methoden wie die Tympanometrie (KOCH/OPITZ, 1974). Dabei werden gleiche Drucke vor und hinter dem Trommelfell durch kompensatorische Drucke vor dem Trommelfell erreicht. Eine Aussage über die Elastizität des Trommelfellgehörknöchelchenapparates in der Trommelfellebene ist möglich. Die Tympano-Audiometrie ermöglicht eine erweiterte funktionelle Beurteilung von Mittelohren mit operativ veränderter Schallleitung. Es wird die Hörschwelle in Abhängigkeit von druckbedingten Impedanzänderungen bestimmt (OPITZ/KOCH, 1973). Die Qualität des Hörens ist nicht nur geprägt vom Hörvermögen, sondern auch von den durch nicht lineare Übertragung des Mittelohrsystems entstehenden Verzerrungen.

Aufgabe der folgenden Untersuchung ist die Ermittlung des Klirrspektrums durch Obertonmessung bei mittelohroperierten Patienten. Durch vergleichende Verzerrungsmessungen mit Normalpersonen soll der Einfluß der gehörverbessernden Mittelohroperation auf die Nichtlinearität des Gehörs untersucht werden, um die gängigen Untersuchungsverfahren durch eine qualitative Komponente zu ergänzen.

2. Tympanoplastik und Stapesplastik

Die gehörverbessernde Mittelohroperation wird durchgeführt bei Mittelohrentzündungen, Traumen und kongenitalen Anomalien. Ziel ist die Wiederherstellung eines Schalldrucktransformationsgradienten von 1 : 22 zwischen Trommelfell, Gehörknöchelchenkette und ovalem Fenster. Hierbei spielt das Hebelsystem der Gehörknöchelchen eine untergeordnete Rolle. Bei Ersatz der Kette durch einen Knochenspan resultiert nur eine Hörverschlechterung von 2,5 dB. Man spricht vom Columellaeffekt nach dem einzigen Gehörknochen der Vögel (WULLSTEIN, 1952).

Voraussetzung für eine Hörverbesserung sind eine durchgängige Tube und ein funktionstüchtiges Innenohr.

Bei der Vorstellung der Tympanoplastiken wird der Einteilung von WULLSTEIN gefolgt. Die Abbildungen 1 bis 5 sind entnommen von BERENDES, LINK, ZÖLLNER, HNO-Heilkunde, Bd.III, S.1212 bis 1217, 1966.

2.1.1 Tympanoplastik Typ I

Dem Typ I zugeordnet werden:
- der Verschluß einer zentralen Trommelfellperforation und
- der Ersatz des zerstörten Trommelfells.

Bei intakter Kette und pneumatisierter Pauke kann das Hörergebnis normal sein. Beeinträchtigungen werden gefunden bei geänderter Schwingungsfähigkeit und Verwachsungen des operierten Trommelfells. Diese Operation wird auch Myringoplastik genannt (DAVIS und CHRISTOPHER, 1972; BÖNNINGHAUS, 1974).

Abb.1 Schematische Darstellung der Tympanoplastik Typ I, links Defekt präoperativ, rechts Operationsergebnis.

2.1.2 Tympanoplastik Typ II

Bei der Tympanoplastik Typ II wird das Trommelfell und die teilweise defekte Kette wiederhergestellt, es besteht ein zum Gehörgang offener Attikus.

Gelingt es bei defekter Kette durch ein Transplantat eine Verbindung zum Stapes herzustellen, spricht WULLSTEIN noch von Typ II, ZÖLLNER schon von Typ III.

Abb.2 Schematische Darstellung der Tympanoplastik Typ II links Defekt präoperativ, rechts Operationsergebnis.

2.1.3 Tympanoplastik Typ III

Bei zerstörtem Trommelfellgehörknöchelchenapparat (TGA) wird hier der Schalldruck direkt auf den erhaltenen Stapes übertragen, unter Verzicht auf Hammer und Amboss. Es resultiert eine flache Pauke (Columellaeffekt, WULLSTEIN, 1952).

Ist der Stapes zerstört, kann eine Ambossinterposition oder eine Bindegewebsdrahtprothese auf die Stapesfussplatte versucht werden.

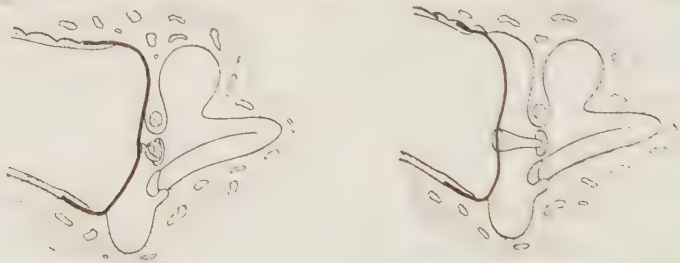

Abb.3 Schematische Darstellung der Tympanoplastik Typ III links Columellaeffekt, rechts Interposition mit hoher Pauke.

2.1.4 Tympanoplastik Typ IV

Bei der Tympanoplastik Typ IV wird ohne Schalldrucktransformation durch Knöchelchen die Schallprotektion des runden Fensters angestrebt, um Interferenzen der Schallwellen bei gleichzeitigem Auftreffen auf ovales und rundes Fenster zu vermeiden. Es wird eine kleine Pauke hergestellt.

Abb.4 Schematische Darstellung der Tympanoplastik Typ IV
links Defekt präoperativ, rechts Operationsergebnis.

2.1.5 Tympanoplastik Typ V

Dieser Typ wird heute selten bei Mißbildungen im Bereich des ovalen Fensters oder unlösbar fixierter Fussplatte angewendet.

Die Operation besteht im Anlegen eines Fensters im horizontalen Bogengang. Wie beim Typ IV ist das Prinzip die Schallprotektion des runden Fensters, wohingegen Typ I - III auch die Schalldrucktransformation auf das ovale Fenster bewirken.

Abb.5 Schematische Darstellung der Tympanoplastik Typ V
links Defekt präoperativ, rechts Operationsergebnis.

2.2 Stapesplastik

Diese Operation kann als Platinektomie mit Ersatz der Stapesfussplatte durch ein Bindegewebs- oder Venenwandtransplantat durchgeführt werden oder als Stapedektomie mit Interposition einer Bindegewebs-Drahtprothese (SCHUKNECHT-Prothese) oder Interposition eines Teflon-Kolbens auf Vene als Stapesersatz (SHEA -Prothese) Abb.6.

Die Stapesplastik wird angewendet bei Stapesankylose (Otosklerose). Eine normale bis geringfügig eingeschränkte Knochenleitungsschwelle ist Voraussetzung des Hörerfolges.

Abb.6 Teflonkolben auf Vene (SHEA -Prothese) aus BERENDES, LINK, ZÖLLNER (Bd.5, Ohr I, 1979, S.1943).

3. Akustische Verzerrungen

Nach dem OHM'schen Gesetz der Akustik sollte jedem Ton eine Tonempfindung entsprechen. Das Gehör ist ein System mit nichtlinearen Übertragungseigenschaften. Wirken zwei Töne mit der Frequenz f_1 und f_2 auf das Gehör ein, treten ab bestimmten Lautstärken Kombinationstöne auf, die im Schallfeld nicht vorhanden sind. Sie gehorchen dem Frequenzbildungsgesetz $f_k = mf_1 \pm nf_2$; m, n = 0, 1, 2, 3... (v.HELMHOLTZ, 1862).

NEWMAN, STEVENS und DAVIS haben bei einer Katze, die mit 2 Tönen von 7oo Hz und 12oo Hz mit 9o dB beschallt wurde, im Bereich von 1oo Hz bis 76oo Hz 66 verschiedene Ober-, Differenz- und Summationstöne nachgewiesen (Abb.7).

Frequency	Response (%)	Combination	Frequency	Response (%)	Combination
100	2.0	3U − 5L	3700	1.1	6U − 5L
200	7.9	2L − U	3800	2.2	2U + 2L
300	3.7	2U − 3L	3900	.84	5U − 3L
400	.58	4L − 2U	4000	.47	4L + U
500	4.0	U − L	4100	1.4	4U − L
700	100.0	L	4200	.60	6L
800	3.3	3U − 4L	4300	1.0	3U + L
900	1.0	3L − U	4400	.42	6U − 4L
1000	1.3	2U − 2L	4500	2 3	3L + 2U
1200	100.0	U	4600	1.0	5U − 2L
1300	1.8	4U − 5L	4700	.42	5L + U
1400	3.1	2L	4800	.32	4U
1500	1.3	3U − 3L	4900	.33	7L
1600	.16	4L − U	5000	2.7	3U + 2L
1700	18 0	2U − L	5100	1.4	6U − 3L
1800	.83	5U − 6L	5200	.45	4L + 2U
1900	3.2	U + L	5300	.20	5U − L
2000	.58	4U − 4L	5400	.33	6L + U
2100	1.1	3L	5500	.38	4U + L
2200	3.2	3U − 2L	5600	.67	7U − 4L
2300	.17	5L − U	5700	.97	3U + 3L
2400	3.0	2U	5800	.33	5L + 2U
2600	8.0	2L + U	6000	.10	5U
2700	3.5	4U − 3L	6100	.28	7L + U
2800	2.0	4L	6200	.45	4U + 2L
2900	2.5	3U − L	6300	.77	4L + 3U
3000	.20	6U − 6L	6400	.33	6U − L
3100	10.0	2U + L	6600	.12	6L + 2L
3200	1.3	5U − 4L	6700	.25	5U + L
3300	1.2	3L + U	6800	.67	4U + 3L
3400	1.3	4U − 2L	7100	.10	5L + 3U
3500	.20	5L	7200	.15	6U
3600	1.8	3U	7600	.30	4L + 4U

Abb.7 Frequenz und Lautstärke der Kombinationen in Prozent der Lautstärke der Grundtöne (U=12oo Hz, L=7oo Hz).
(NEWMAN, STEVENS und DAVIS, 1937, S.117).

3.1 Entstehungsort der Verzerrungen

Sitz der Nichtlinearität im Mittelohr können sein: das Trommelfell, Bänder und Gelenke und das Ringband der Steigbügelfußplatte. Die Rolle der Mittelohrmuskeln ist noch nicht abschließend geklärt. Nach LEHNHARDT (1965) werden durch die Mittelohrmuskeln nur die aus der asymmetrischen Verzerrung stammenden geraden Obertöne beeinflußt. LEHNHARDT deutet dies mit der Annahme, daß der Schwingungsmittelpunkt der asymmetrisch verzerrenden Mittelohrteile unter Einfluß der Mittelohrmuskeln nach medial verlagert wird und die Asymmetrie der Nichtlinearität dadurch gemindert wird. HELMHOLTZ (1862) erkannte die Abhängigkeit der Harmonischen von der nichtlinearen Verzerrung im Ohr. Während HELMHOLTZ den Ort der Verzerrungsbildung im Mittelohr annahm, genauer in dem unsymmetrisch gebauten Trommelfell und dem losen Hammer-Amboßgelenk, wiesen LEWIS und REGER das Auftreten von Harmonischen in Ohren ohne Kette exakt wie in gesunden Ohren nach. BÉKÉSY (1934) sucht den Entstehungsort jenseits des Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparates.

Nach TONNDORF (1958) entsteht die harmonische Verzerrung in der Cochlea früher als im Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparat.

Nach Versuchen an curarisierten Katzen mit veränderten Mittelohrdrucken kommen WEVER, BRAY und LAWRENCE (194o) zu dem Schluß, daß der Hauptentstehungsort der Verzerrung das Innenohr ist. Bei Versuchen an Meerschweinchen, denen der TGA bis auf den Stapes entfernt war, wurde eine auffällige Übereinstimmung des Verzerrungsmusters mit intakten Ohren gefunden. Eine Mitbeteiligung des Mittelohres bei der Verzerrungsbildung konnte nicht ausgeschlossen werden. WEVER, BRAY und LAWRENCE vertreten die Ansicht, daß der Sitz der Verzerrungsbildung wegen der Unabhängigkeit von mechanischen Manipulationen der Umsetzpunkt von mechanischer in elektrische Energie ist: die Haarzellen des Corti-Organs. An Katzen zeigen WEVER und BRAY (1938), daß Manipulationen am Musculus tensor tympani das allgemeine Verzerrungsmuster nicht signifikant verändern.

3.2 Differenztöne

Bei einem Angebot von 2 reinen Sinustönen mit der Frequenz f_1 und f_2 werden neben den Kombinationstönen Differenztöne gebildet mit den Frequenzen f_1-f_2, $2f_1-f_2$ und $2f_2-f_1$.

Dem Differenzton mit der Frequenz f_1-f_2 wird zur Kennzeichnung der Stärke der Differenztonfaktor erster Ordnung, den Differenztönen $2f_1-f_2$ und $2f_2-f_1$ der Differenztonfaktor zweiter Ordnung zugeordnet. Als Differenztonfaktor wird das Verhältnis des Effektivwertes des Differenztones zu den Effektivwerten der Grundtöne bezeichnet. Der Differenzton erster Ordnung ist proportional den durch die unsymmetrische Nichtlinearität bedingten Verzerrungen, der Differenztonfaktor zweiter Ordnung den durch die symmetrische Nichtlinearität bedingten Verzerrungen (TRENDELENBURG, 1961) Abb.8.

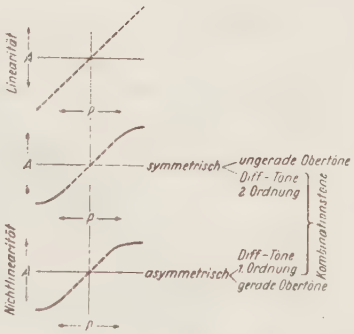

Abb.8 Infolge der symmetrischen Nichtlinearität treten zunächst Differenztöne zweiter Ordnung und ungerade Obertöne auf, bei zusätzlicher Asymmetrie Differenztöne erster Ordnung und gerade Obertöne. (LEHNHARDT, 1965).

Die Entstehung der Differenztöne wird vornehmlich dem Mittelohr zugeschrieben, da sie durch Muskelkontraktionen verändert werden und durch die im Innenohr entstehende Hörmündung unbeeinflußt bleiben (v.BÉKÉSY, 1934). Da der tiefe Differenzton durch die beiden Grundtöne weniger verdeckt wird als die Obertöne und Summationstöne (ZWICKER, 1955), bevorzugen einige Autoren die Amplitudenbestimmung dieses Differenztones zur Ermittlung des Klirrfaktors (PLOMP, 1965; GOLDSTEIN, 1967).

3.3 Obertöne

Wird dem Gehör ein reiner Sinuston mit der Frequenz f angeboten, entstehen Obertöne mit den Frequenzen 2f, 3f etc. Diese Obertöne sind ein außerordentlich empfindsamer Indikator für die im Ohr entstehenden Verzerrungen. Sie sind schwer nachzuweisen, da es durch die Konsonanz mit der Grundfrequenz zu einer Verschmelzung kommt (STUMPF, 1898).

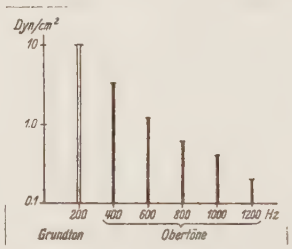

Abb.9 Die im Ohr entstehenden Obertöne für einen Grundton von 2oo Hz und 1o Dyn/cm^2 Schalldruck. 1o Dyn/cm^2 = 94 dBSPL, 1,o Dyn/cm^2 = 74 dBSPL, o,1 Dyn/cm^2 = 54 dBSPL (v.BÉKÉSY, 812, 1934).

Ein Nachweis der Obertöne kann gelingen mit der Methode der "best beats", auf die weiter unten eingegangen wird.

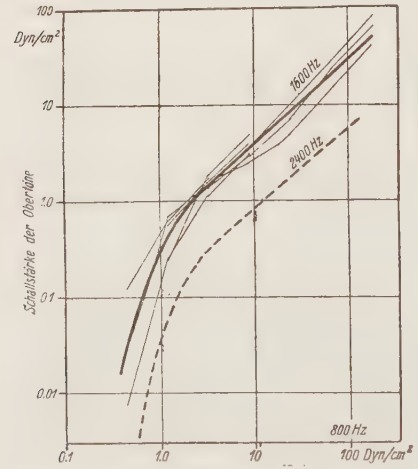

Abb.1o Schallstärke der Obertöne für einen Grundton von 8oo Hz (v.BÉKÉSY, 811, 1934).

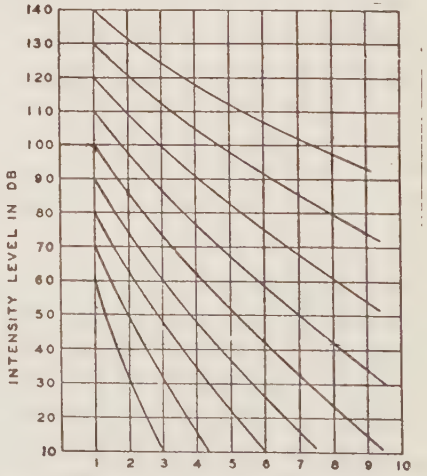

Abb.11 Darstellung der Lautstärke der Obertöne bei verschiedenen Lautstärken des Grundtones, hier als 1.Harmonische bezeichnet (FLETCHER, 193o).

Die Abbildungen 1o und 11 verdeutlichen das Auftreten von Obertönen, gemessen mit der Methode der "best beats".

Bei der Abbildung 1o wird ein Grundton von 8oo Hz gegeben und die Lautstärke der abhängigen Obertöne von 16oo Hz und 24oo Hz dargestellt.

Die Abbildung 11 stellt die Lautstärken der verschiedenen Obertöne dar bei unterschiedlichen Lautstärken des Grundtones von 5oo Hz.

4. Methode der "best beats"

Diese Methode dient dem indirekten Nachweis der Obertöne. Zusätzlich zum Grundton wird ein Hilfston angeboten, der um wenige Hertz von der Frequenz des zu messenden Obertones differiert. Infolge der limitierten Analysierschärfe des Gehörs entstehen Schwebungen. KUHL (1939) spricht von der Methode des schwebenden Hilfstones.

FLETCHER gibt eine optimale Schwebungsfrequenz von 2-3 Hertz an, FREY von 2,5 - 5,7 Hertz.

Die maximale Schwebung ergibt durch die meßbare Intensität des Hilfstones ein Maß für die Intensität des Obertones, da bei "best beats" der Hilfston und der Oberton gleich groß sind (WEGEL und LANE, 1924; WEVER, 1929; MOE, 1942; KLUMPP und EGAN, 1951; FREY, 1965).

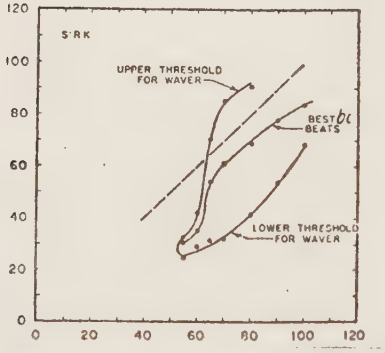

Abb.12 Untere, obere Schwelle und maximale Schwebungen des 1.Obertones von 7oo Hz bei einem Grundton von 35o Hz (EGAN und KLUMPP, 1951, 282).

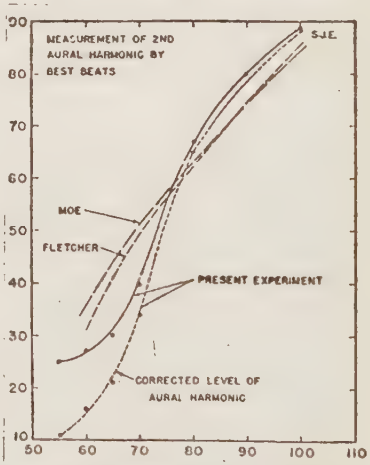

Abb.13 Schwellennahe Überschätzung des 1.Obertones bei verschiedener Grundfrequenz durch die Methode der "best beats".

EGAN und KLUMPP (1951) bestimmten neben der maximalen Schwebungsamplitude auch die untere und obere Schwelle, bei der Schwebungen auftreten. Sie konnten nachweisen, daß infolge der Maskierung durch den Grundton der Hilfston schwellennah in der Intensität höher an-

gegeben wird, als es der tatsächlichen Lautstärke des Obertones entspricht (Abb.12).

In der Abbildung 13 vergleichen sie die Lautstärke des ersten Obertones bei verschiedener Grundfrequenz mit den Ergebnissen von FLETCHER und MOE. Die korrigierte Kurve zeigt die Überschätzung des Obertones im schwellennahen Bereich.

Ist die Intensität des Grundtones und der Obertöne bekannt, ergibt sich als Maß der Nichtlinearität der Klirrfaktor nach KUPFMÜLLER:

$$K^2 = \frac{x_2^2 + x_3^2 + \dots}{x_1^2}$$, wobei x_2, x_3 etc.

die Intensität der Obertöne und x_1 die Intensität des Grundtones ist (TRENDELENBURG, 1961).

4.1 Versuchsaufbau

Der Untersuchungsgang bestand aus ohrenärztlicher Inspektion, Audiogramm und Versuch.

Der Grundton von 5oo Hz wird von einem Tongenerator WAVETEK Model 136 VCA Generator erzeugt. Ein Beat Frequenz Oscillator Type 1o22 liefert die Hilfstöne von 1ooo,15oo, 2ooo und 25oo Hz (+2 bis 5 Hz). Die hier entstehenden Nichtlinearitäten müssen gegenüber den Verzerrungen des Gehörs klein bleiben. Als Kopfhörer, dessen eine Schallquelle stumm ist, wird ein PIONEER/Stereo Amplifier/Modell SA 5oo verwendet.

Der Grundton wird nun mit 1oo dB, 8o dB und 6o dB gegeben. Dann wird der Hilfston zugeschaltet. Die Versuchsperson stellt sich mit Hilfe des Lautstärke- und Frequenzregelers die maximale Schwebung ein. Die Lautstärke des Hilfstones wird gemessen. Daraufhin werden die Hilfstöne für die weiteren Obertöne bestimmt.

Der Beobachter ist hörgesund und hörte jede Messung mit.

5. Ergebnisse

Bei insgesamt 88 Personen wurde die Lautstärke der ersten vier Obertöne mit der Schwebungsmethode gemessen.

5o Patienten waren mittelohroperiert.

Durchgeführt wurden Tympanoplastiken Typ I, Typ III mit Amboßinterposition auf den Stapeskopf und die Stapesfußplatte und Stapesplastiken.

7 Patienten wurden vor der Amboßinterposition auf den Stapeskopf gemessen.

Zum Vergleich dienten 31 Normalhörende.

5.1 Meßergebnisse von Normalpersonen

Es wurde ein Kollektiv von 31 hörgesunden Personen mit einem maximalen Hörverlust von 5 dB untersucht. Hierbei handelte es sich um Medizinstudenten und medizinisches Hilfspersonal im Alter von 19 bis 3o Jahren.

Alle Personen konnten die Schwebungen identifizieren. Der größte Sprung liegt bei dem 1. und 2. Oberton bei Verringerung der Lautstärke von 8o dB des Grundtones auf 6o dB. So wurde der erste Oberton bei 8o dB des Grundtones von 1oo % gehört, bei 6o dB von 48,4 %. Bei dem 2. Oberton liegt in diesem Bereich ein Sprung von 87,1 % auf 6,5 % vor. Die Spannweite R nimmt mit steigender Obertonfrequenz stark zu, die niedrigen Werte bei 15oo Hz mit 6o dB und 25oo Hz mit 8o dB sind dadurch bedingt, daß nur noch 2 Fälle zur Auswertung kamen.

Die Tabellen 1,2 und 3 zeigen die statistischen Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 1oo dB, 8o dB und 6o dB bei Normalpersonen.

Normalpersonen n = 31	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	31	31	29	2o
relative Häufigkeit	1oo	1oo	93,5	64,5
arithmetischer Mittelwert	8o,55	76,48	71,o6	67
Varianz S^2	24,54	64,39	68,7o	63,41
Standardabweichung S	4,95	8,o2	8,28	7,96
Minimum dB	72	61	53	5o
Maximum dB	87	96	82	78
Spannweite R	15	35	29	28

Tabelle 1 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 1oo dB bei Normalpersonen

Normalpersonen n = 31	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	31	27	13	2
relative Häufigkeit	1oo	87,1	41,9	6,5
arithmetischer Mittelwert	62,24	53,88	52	36
Varianz S^2	27,61	41,41	91,83	8
Standardabweichung S	5,25	6,43	9,58	2,82
Minimum dB	52	36	4o	34
Maximum dB	68	61	67	38
Spannweite R	16	25	27	4

Tabelle 2 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 8o dB bei Normalpersonen

Normalpersonen n = 31	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	15	2	o	o
relative Häufigkeit	48,4	6,5		
arithmetischer Mittelwert	48,o6	32		
Varianz S^2	1o,78	8,o		
Standardabweichung S	3,28	2,82		
Minimum dB	43	3o		
Maximum dB	52	34		
Spannweite R	9	4		

Tabelle 3 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 6o dB bei Normalpersonen

Der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung sind in Abbildung 13 für den 1. und 2. Oberton, in Abbildung 14 für den 3. und 4. Oberton auf der Ordinate in Abhängigkeit von der Lautstärke des Grundtones (Abszisse) dargestellt.

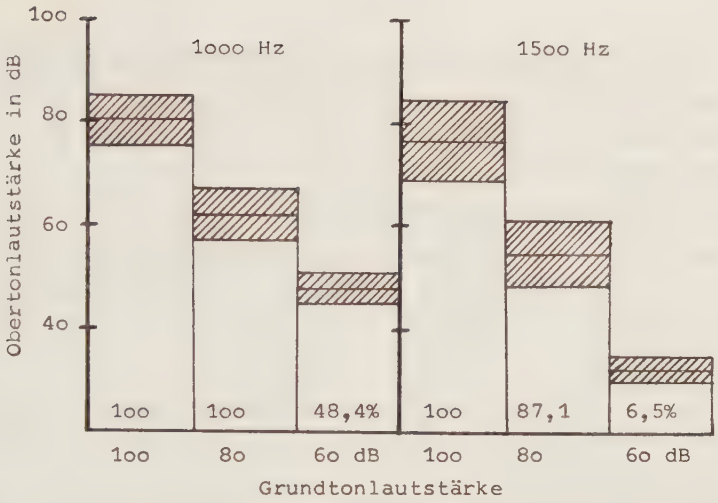

Abb.14 Darstellung des arithmetischen Mittelwertes mit der Standardabweichung des ersten Obertones (links) und des zweiten Obertones (rechts) bei Normalhörenden in Abhängigkeit von der Grundtonlautstärke (Abszisse). Die relative Häufigkeit steht über der Abszisse.

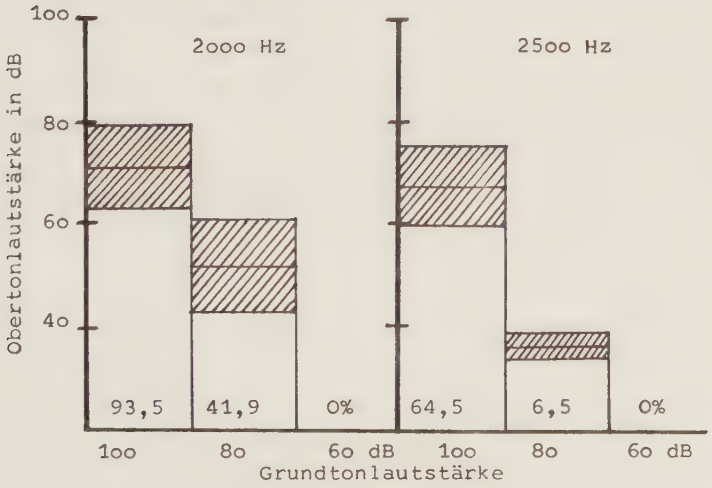

Abb.15 Darstellung des arithmetischen Mittelwertes mit Standardabweichung des dritten Obertones (links) und des vierten Obertones (rechts) bei Normalpersonen.

5.2 Meßergebnisse bei Patienten nach Tympanoplastik Typ I

Es wurden 21 Patienten gemessen im Alter zwischen 2o und 5o Jahren. Die Operation lag zwischen 4 und 15 Monaten vor dem Untersuchungstermin.

Die Schallempfindung lag im Normbereich.

Die Tabellen 4, 5 und 6 zeigen die statistischen Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 1oo dB, 8o dB und 6o dB.

Tympanoplastik Typ I n = 21	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	18	14	11	5
relative Häufigkeit	85,7	66,6	52,3	23,8
arithmetischer Mittelwert	78	7o,57	67,18	59,8
Varianz S^2	1o3,88	135,o3	184,16	198,2
Standardabweichung S	1o,19	11,62	13,57	14,o7
Minimum dB	63	5o	47	42
Maximum dB	99	94	91	75
Spannweite R	36	44	44	33

Tabelle 4 Statistische Werte für die Patienten mit Tympanoplastik Typ I mit einer Grundtonlautstärke von 1oo dB

Tympanoplastik Typ I n = 21	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	1o	9	7	2
relative Häufigkeit	54,5	42,8	33,3	9,5
arithmetischer Mittelwert	63	54,55	53,57	52
Varianz S^2	67,o9	96,27	129,95	o
Standardabweichung S	8,19	9,81	11,4o	o
Minimum dB	52	42	4o	52
Maximum dB	79	74	68	52
Spannweite R	27	32	28	o

Tabelle 5 Statistische Werte für Patienten mit Tympanoplastik Typ I mit einer Grundtonlautstärke von 8o dB

Tympanoplastik Typ I n = 21	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	1	1	1	1
relative Häufigkeit	4,7	4,7	4,7	4,7
arithmetischer Mittelwert	67	64	57	48
Varianz S^2				
Standardabweichung				
Minimum dB				
Maximum dB				
Spannweite R				

Tabelle 6 Statistische Werte für Patienten mit Tympanoplastik Typ I mit einer Grundtonlautstärke von 6o dB

85,7 Prozent der Patienten hörten die Schwebungen, 14,3 Prozent machten keine Angaben.

Bei dem Vergleich der Patienten mit den Werten der Normalpersonen ist festzustellen:

1) Der arithmetische Mittelwert ist nahezu identisch.
2) Auffällige Unterschiede bestehen hingegen bei allen anderen Werten. Bei dem 1. Oberton von 1ooo Hz bei 1oo dB und 8o dB des Grundtones hat die Spannweite doppelten Wert, d.h. daß trotz nahezu identischen Mittelwerten die Einzelfälle bei den Patienten sehr viel stärker streuen.
3) Die Patienten wurden nach dem Grad der Schalleitungskomponente aufgeschlüsselt
   a) bis zu 1o dB Hörverlust
   b) bis zu 25 dB und
   c) größer 25 dB Hörverlust.
   Die Tabelle 7 vergleicht die Obertonhörenden der einzelnen Gruppen mit Normalpersonen. Das relativ schlechte Hörergebnis der Gruppe 3 (> 25 dB) läßt sich durch das Verschwinden der Obertöne unter die Hörschwelle erklären, da sich die Maskierung durch den Grundton und die große Hörbeeinträchtigung addieren.
4) Trotz der großen Schalleitungskomponente wird die Intensität des schwebenden Hilfstons nicht größer oder kleiner eingestellt.
5) Zwei Fälle zeigen eine starke Abweichung:
   a) Hier handelt es sich um einen normalhörenden, 3o jährigen Medizin- und Musikstudenten, der 3 Tage nach einer traumatischen Trommelfellperforation operiert worden war und sich 12 Monate später zur Messung vorstellte. Eine Beschallung mit 1oo dB verursachte große Schmerzen, so daß eine Messung unmöglich war. Bei Beschallung mit 8o dB, 6o dB und 4o dB hörte er alle vier Obertöne mit deutlich erhöhtem Klirrfaktor von 2,o3. Weder in der Anamnese, im Operationsbericht noch bei der Inspektion fanden sich erklärende Hinweise für das Auftreten dieser starken Verzerrungen (Abb.16).

b) In der Gruppe mit Hörbeeinträchtigung bis zu 25 dB fällt eine 22 jährige Hausfrau auf, die auf beiden Ohren starke Verzerrungen bietet. Bei der Inspektion des operierten Ohres wurde eine epitympanale Einziehung festgestellt (Abb.17).

		Normalpersonen n_1= 31	Typ I n_2= 21	-1o dB n = 9	-25 dB n = 3	>25 dB n = 9
	1oo dB	31	18	7	3	7
1. OT	8o	29	12	5	3	2
	6o	15	1	1	o	o
	1oo	31	14	6	2	5
2. OT	8o	27	9	4	2	2
	6o	2	1	1	1	o
	1oo	29	11	6	1	5
3. OT	8o	13	7	4	1	2
	6o	o	1	1	1	o
	1oo	2o	5	1	1	2
4. OT	8o	2	2	o	1	o
	6o	o	1	o	1	o

Tabelle 7 Die absoluten Häufigkeiten der Personen, die Obertöne hören, sind für Normalpersonen und Patienten mit einer Tympanoplastik Typ I angegeben. Die Gruppe der Patienten wurde aufgeschlüsselt nach dem Grad der Schalleitungskomponente.

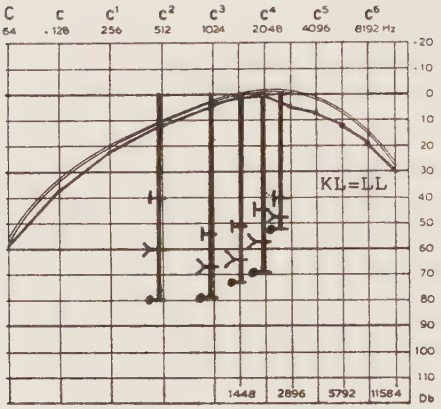

Abb.16 Darstellung des Grundtones mit einer Lautstärke von 8o dB, 6o dB und 4o dB und der zugehörigen Obertöne bei einem Patienten mit Tympanoplastik Typ I (vergl. S.24, 5a).

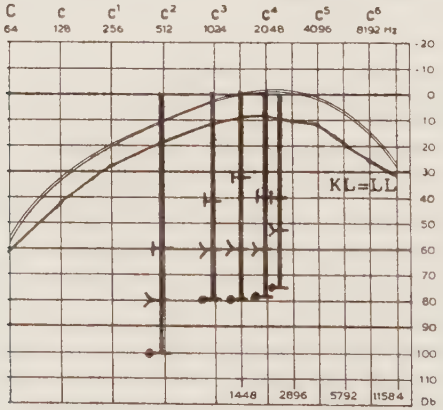

Abb.17 Darstellung des Grundtones mit einer Lautstärke von 1oo dB, 8o dB und 6o dB und der zugehörigen Obertöne bei einem Patienten mit Tympanoplastik Typ I (vergl. S.25, 5b).

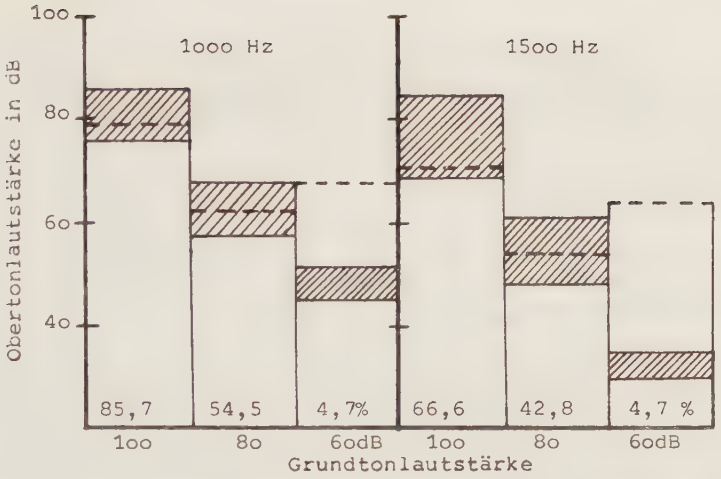

Abb.18 Mittelwerte (gestrichelte Linie) bei Patienten mit Tympanoplastik Typ I. Links der 1.Oberton, rechts der 2.Oberton im Vergleich mit dem Normbereich (schraffiert). Die Zahlen über der Abszisse geben die relative Häufigkeit in Prozent der Patienten an.

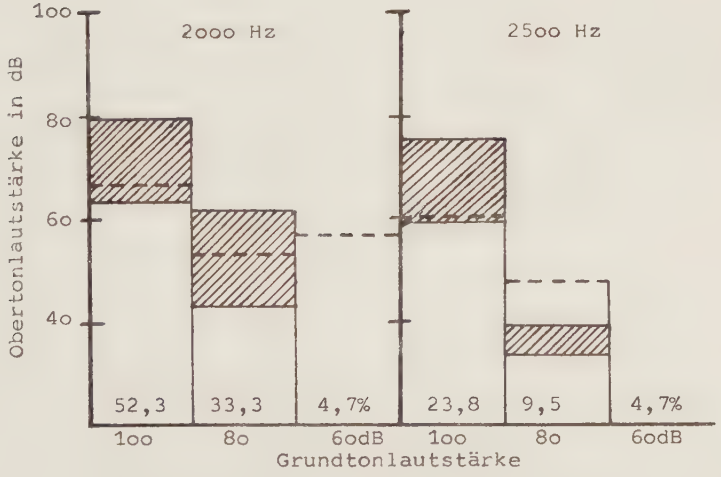

Abb.19 Darstellung der Mittelwerte (gestrichelte Linie) des 3.Obertones (links) und des 4.Obertones (rechts), Normbereich schraffiert.

5.3 Ergebnisse von Patienten mit Tympanoplastik Typ III

5.3.1 Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen

Es wurden 17 Patienten im Alter zwischen 16 und 53 Jahren gemessen. Die Untersuchung erfolgte zwischen 3 und 15 Monaten nach der Operation.

In den Tabellen 8, 9 und 1o sind die statistischen Werte der ersten vier Obertöne bei 1oo dB, 8o dB und 6o dB von Patienten mit Tympanoplstik Typ III dargestellt.

Tympanoplastik Typ III n=17	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	14	12	1o	2
relative Häufigkeit	82,4	7o,6	58,8	11,8
arithmetischer Mittelwert	77,92	68,75	62,6	5o,5
Varianz S^2	99,76	147,47	194,48	12,5
Standardabweichung S	9,98	12,14	13,94	3,53
Minimum dB	62	46	4o	48
Maximum dB	89	83	82	53
Spannweite R	27	37	42	5

Tabelle 8 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 1oo dB bei Patienten mit Tympanoplastik Typ III

Tympanoplastik Typ III n=17	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	8	5	3	1
relative Häufigkeit	47,1	29,4	17,6	5,9
arithmetischer Mittelwert	72,37	69,2	6o,66	44
Varianz S^2	5,98	7o,7	44,33	
Standardabweichung S	2,44	8,4o	6,65	
Minimum dB	68	58	53	
Maximum dB	76	78	65	
Spannweite R	8	2o	12	

Tabelle 9 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 8o dB bei Patienten mit Tympanoplastik Typ III

Tympanoplastik Typ III n=17	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	o	o	o	o
relative Häufigkeit				
arithmetischer Mittelwert				
Varianz S^2				
Standardabweichung S				
Minimum dB				
Maximum dB				
Spannweite R				

Tabelle 1o Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 6o dB bei Patienten mit Tympanoplastik Typ III

Im Vergleich mit Normalpersonen ist festzustellen:

1) Kein Patient konnte bei einer Grundtonlautstärke von 6o dB Obertöne hören.

2) Bei einer Grundtonlautstärke von 1oo dB liegen die Mittelwerte der Patienten im unteren Bereich der Standardabweichung für Normalpersonen, bzw. knapp darunter, während bei einer Grundtonlautstärke von 8o dB die Mittelwerte für den ersten, zweiten und vierten Oberton über dem Bereich der Standardabweichung liegen, der dritte Oberton liegt im oberen Bereich der Standardabweichung für Normalpersonen. Dieses spiegelbildliche Verhalten wurde auch subjektiv bestätigt (Abb.2o und 21).
Offenbar kommt bei großer Lautstärke den Mittelohrmuskeln ein protektives Moment zu.

3) Die Patienten werden in 3 Gruppen gegliedert
   a) Patienten mit einer Schalleitungsstörung bis 15 dB
   b) Patienten mit einer Schalleitungskomponente größer als 15 dB
   c) Patienten mit einer kombinierten Schalleitungs- und Empfindungsstörung.
   Die Tabelle 11 zeigt die absolute Häufigkeit der Patienten, die Obertöne hören.

4) Für jede dieser Gruppen wurde der Klirrfaktor ermittelt (Tab.12). Bei der Gruppe 1 mit einem maximalen Hörverlust bis 15 dB bestätigt sich rechnerisch das unter 2) beobachtete: der Klirrfaktor bei einer Grundtonlautstärke von 1oo dB ist geringer als bei Normalpersonen, bei 8o dB deutlich höher.

5) Bei der Gruppe 2 mit einem Hörverlust größer 15 dB wird ein deutlich niedrigerer Klirrfaktor gefunden. Neben der Hörbeeinträchtigung ist hier eine zu starre operative Ankoppelung des Interponats zu diskutieren.

6) In der Gruppe 3 ist der niedrige Klirrfaktor durch die zusätzliche Innenohrbeeinträchtigung erklärbar.
Von 5 Patienten kamen hier noch 2 zur Auswertung.

		Normalpersonen n_1= 31	Amboßinterposition auf Stapeskopf n_1= 17	-15 dB n_1= 6	>15 dB n_2= 6	Komb. n_3= 5
	1oo dB	31	13	5	6	2
1. OT	8o	29	6	4	2	o
	6o	15	o	o	o	o
	1oo	31	9	5	3	1
2. OT	8o	27	2	2	o	o
	6o	2	o	o	o	o
	1oo	29	7	5	2	o
3. OT	8o	13	1	1	o	o
	6o	o	o	o	o	o
	1oo	2o	1	1	o	o
4. OT	8o	2	1	1	o	o
	6o	o	o	o	o	o

Tabelle 11 Die absoluten Häufigkeiten der Personen, die Obertöne hören, sind für Normalpersonen und Patienten mit einer Tympanoplastik Typ III angegeben. Die Gruppe der Patienten wurde aufgeschlüsselt nach dem Grad der Schwerhörigkeit.

Hörgesunde	1oo dB 8o 6o	1,48 1,29 o,9o	1,24
Typ III bis 15 dB	1oo 8o 6o	1,33 1,45 o	1,39
Typ III 15 dB	1oo 8o 6o	1,o4 o,92 o	o,98
Typ III komb.	1oo 8o 6o	o,7 o,8 o	o,75

Tabelle 12 Darstellung der Klirrfaktoren für die ersten vier Obertöne bei verschiedenen Intensitäten der Grundtöne, rechts der arithmetische Mittelwert der Klirrfaktoren

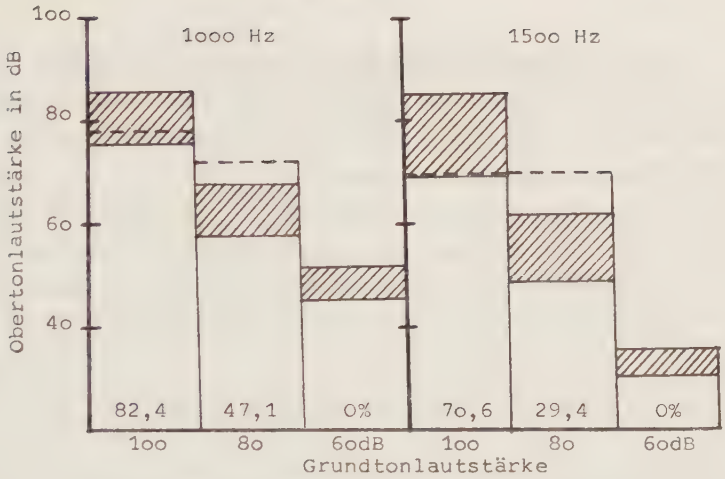

Abb.2o Darstellung der Mittelwerte (gestrichelte Linie) des 1.Obertones (links) und des 2.Obertones (rechts) bei Patienten mit Tympanoplastik Typ III, Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen. Über der Abszisse steht die relative Häufigkeit in Prozent.

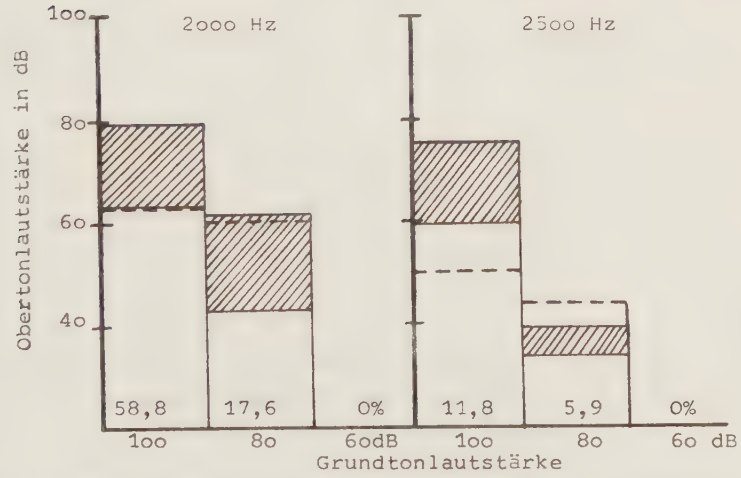

Abb.21 Mittelwerte (gestrichelte Linie) des 3.Obertones (links) und des 4.Obertones (rechts) im Vergleich mit dem Normbereich (schraffiert).

5.3.2 Ergebnisse bei präoperativ gemessenen Patienten

Präoperativ wurden 7 Patienten im Alter zwischen 25 und 53 Jahren gemessen, bei denen später eine Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen durchgeführt wurde.

Der Klirrfaktor von 1,19 (Tab.13) läßt keinen Vergleich zu, da in allen Fällen eine erhebliche Schalleitungskomponente bis zu 6o dB vorlag. Um eine Aussage über das prä- und postoperative Verhalten zu ermöglichen, wird der Klirrfaktor für die Gruppe der präoperativ Gemessenen und der Gruppe 1 der Operierten mit einem maximalen Hörverlust bis zu 15 dB errechnet unter Bezugnahme sämtlicher Werte auf die individuelle Hörschwelle.

	1oo dB	1,33	
Präoperativ	8o	1,28	1,19
	6o	o,95	

Tabelle 13 Darstellung des Klirrfaktors von 7 präoperativ gemessenen Patienten

Tabelle 14 zeigt für die Gruppe der präoperativ Gemessenen einen deutlich erhöhten Klirrfaktor von 1,42; postoperativ von 1,115.

	1oo dB SPL minus Hörverlust	1,24	
Präoperativ	8o	1,92	1,42
	6o	1,1	
Postoperativ	1oo	1,13	
normal bis	8o	1,1o	1,115
15 dB	6o	o	

Tabelle 14 Darstellung des Klirrfaktors unter Bezug auf die individuelle Hörschwelle

Der Klirrfaktor verringert sich deutlich, wenn es durch die Operation zu einer Normalisierung der Schalleitungseigenschaften kommt.

5.3.3 Amboßinterposition auf Stapesfußplatte

Es wurden drei Patienten gemessen im Alter zwischen 3o und 51 Jahren. Die Operation lag zwischen 1 und 2,5 Jahren zurück.

Ein Patient hörte keine Obertöne. Sein Audiogramm wies eine Schalleitungsstörung bis zu 4o dB im Obertonmeßbereich auf.

Eine Patientin hörte den ersten Oberton mit 77 dB bei 1oo dB des Grundtones. Weiterer Aufschluß über das Verzerrungsbild konnte nicht erreicht werden wegen einer beträchtlichen kombinierten Schwerhörigkeit.

Bei einer 3o jährigen Hausfrau war präoperativ eine Perforation, Kettenunterbrechung, Adhäsionen und Granulationen diagnostiziert worden. Postoperativ stellte sie sich die Hilfstöne deutlich leiser ein als Normalhörende. Damit korreliert der aus den Einzelwerten von 1,13 und 1,18 gemittelte Klirrfaktor von 1,155, bezogen auf die individuelle Hörschwelle ein Klirrfaktor von o,97 im Vergleich zu Normalhörenden von 1,36 (gemittelt aus 1,59, 1,42 und 1,o8), was einerseits durch die Starrheit des Interponats, andererseits durch die kombinierte Schwerhörigkeit erklärt werden kann (Abb.22).

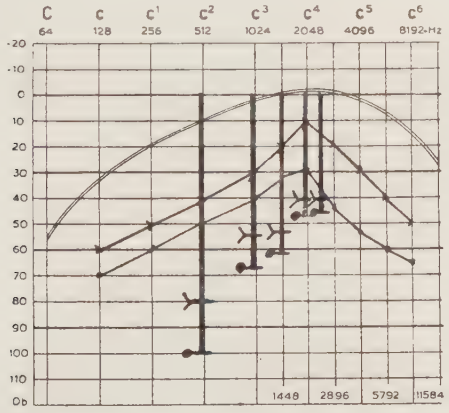

Abb.22 Obertondarstellung bei einer Patientin mit kombinierter Schwerhörigkeit und Amboßinterposition auf die Stapesfußplatte

5.4 Messung von Patienten mit Stapesoperation

Es wurden 9 Patienten im Alter zwischen 17 und 55 Jahren gemessen. Die Untersuchung erfolgte zwischen 5 und 15 Monaten nach der Operation.

Bei 3 Patienten wurde die fixierte Steigbügelfußplatte entfernt, durch Bindegewebe ersetzt und der Steigbügelrest aufgesetzt.

Bei 6 Patienten wurde eine SHEA-Prothese eingesetzt.

Tabelle 15 zeigt die statistischen Werte der Patienten mit Stapesoperation.

Stapesplastik n = 9	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	7	5	3	o
relative Häufigkeit	77,8	55,6	33,3	
arithmetischer Mittelwert	74,42	64,6	62,33	
Varianz S^2	1o1,28	137,3	184,33	
Standardabweichung S	1o,o6	11,71	13,57	
Minimum dB	6o	55	54	
Maximum dB	86	85	78	
Spannweite R	26	3o	24	

Tabelle 15 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 1oo dB bei Patienten mit Stapesoperation

Stapesplastik n = 9	1. OT	2. OT	3. OT	4. OT
absolute Häufigkeit	1	1	1	o
relative Häufigkeit	11,1	11,1	11,1	
arithmetischer Mittelwert	6o	45	41	
Varianz S^2				
Standardabweichung S				
Minimum dB				
Maximum dB				
Spannweite R				

Tabelle 16 Statistische Werte für die ersten vier Obertöne bei einem Grundton von 8o dB bei Patienten mit Stapesoperation

Die Abb. 23 und 24 zeigen, daß die Mittelwerte der Patienten im unteren Bereich der Standardabweichung für Normalpersonen oder darunter liegen. Neben der Hörbeeinträchtigung bis zu 15 dB (mit Ausnahme der unten angeführten Patienten) ist diese Tatsache zu erklären durch eine zu starre Ankoppelung des Interponats.

Für 2 Patienten mit einer SHEA-Prothese errechnet sich ein fast identischer Klirrfaktor bezogen auf die Hörschwelle. Patient A hat eine Schallempfindungsstörung von 3o dB und einen Klirrfaktor von o,73.

Patient B hat eine Schalleitungskomponente von 35 dB und einen Klirrfaktor von o,71.

Bei beiden Fällen scheinen gleiche Verhältnisse am ovalen Fenster bzw. identische Spannungszustände des Interponats vorzuliegen.

2 Patienten hörten keine Obertöne. Der erste Patient hat eine Schallempfindungsstörung von 55 dB, die zweite Patientin eine Schalleitungsstörung von 6o dB.

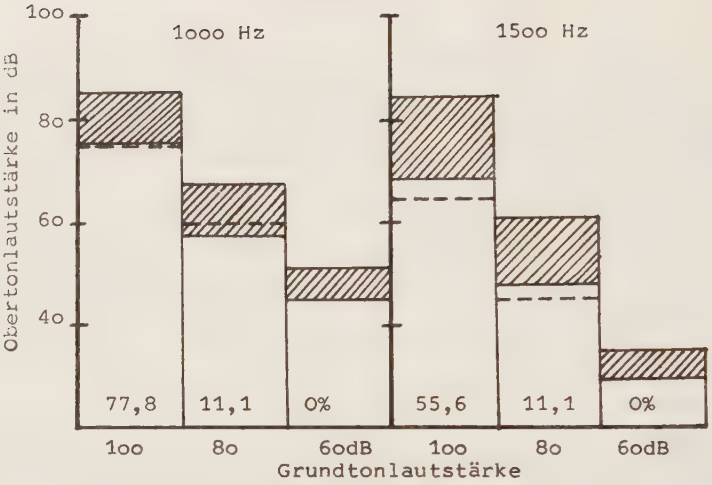

Abb.23 Darstellung der Mittelwerte (gestrichelte Linie) für Patienten mit Stapesplastik, der Normbereich ist schraffiert. Links 1.Oberton, rechts 2.Oberton. Über der Abszisse ist die relative Häufigkeit der Patienten in Prozent angegeben.

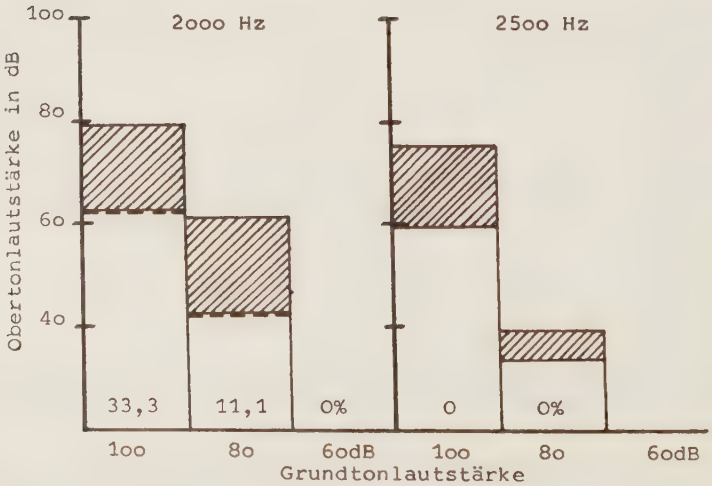

Abb.24 Darstellung des Mittelwertes (gestrichelte Linie) für den 3.Oberton (links) bei Patienten mit Stapesplastik.

6. Diskussion

Bei Patienten, bei denen eine Tympanoplastik Typ I durchgeführt wurde, stimmt der Mittelwert der Obertöne mit denen von Normalpersonen überein. Die Streubreite ist deutlich größer. Nahezu gleich viele Patienten stellen sich die Obertöne größer bzw. kleiner ein.

Auch nach Aufschlüsselung der Patienten nach dem Grad der Schalleitungskomponente ergibt sich bei kleiner Hörbeeinträchtigung keine Abweichung gegenüber Normalpersonen.

Bei der Gruppe mit einer Schalleitungskomponente von mehr als 25 dB hören von 9 Patienten noch 7 den ersten Oberton bei einer Grundtonlautstärke von 1oo dB. Bei einer Lautstärke von 6o dB des Grundtones konnte kein Patient Schwebungen hören.

Offenbar fallen die Obertöne unter die Mithörschwelle, da sich hier die Maskierung durch den Grundton und die Größe der Hörbeeinträchtigung addieren.

Bei Patienten mit einer Tympanoplastik Typ III, Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen, sind die Verzerrungen bei einer Grundtonlautstärke von 1oo dB geringer als bei Normalpersonen, bei 8o dB jedoch deutlich erhöht.

Möglicherweise kommt den Mittelohrmuskeln bei großen Lautstärken eine Schutzfunktion zu.

Nach Aufschlüsselung der Patienten nach dem Grad der Hörbeeinträchtigung ist dieses spiegelbildliche Verhalten der Verzerrungen bei 1oo dB und 8o dB Grundtonlautstärke typisch für die Gruppe mit geringer Schalleitungsstörung. Wenn der Schutzmechanismus der Mittelohrmuskeln bei geringen Lautstärken nicht eintritt, muß für die großen Verzerrungen eine zu lose Ankoppelung des Interponats in Erwägung gezogen werden.

Bei der Gruppe mit einer Schalleitungskomponente größer 15 dB wird ein deutlich niedrigerer Klirrfaktor gefunden. Da die geringe Hörbeeinträchtigung für diese verminderten Verzerrungen nicht zur Erklärung herangezogen werden kann, liegt eine zu starre operative Ankoppelung des Interponats vor.

Bei der Gruppe der vor einer Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen gemessenen Patienten war ein direkter Vergleich der Klirrfaktoren wegen erheblicher Hörbeeinträchtigung bis zu 6o dB nicht möglich. Deshalb wurde der auf die individuelle Hörschwelle bezogene Klirrfaktor ermittelt. Der Vergleich ergibt, daß bei einer Normalisierung der Schalleitungseigenschaften durch die Operation eine Normalisierung der Verzerrungen resultiert.

Die Patienten mit einer Stapesplastik hörten bei 6o dB Grundtonlautstärke keine Obertöne. Bei 1oo dB und 8o dB Grundtonlautstärke liegen die Verzerrungen klar unter dem Normbereich.

Der Spannungszustand der Prothese ist unphysiologisch groß.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, ob durch vergleichende Verzerrungsmessungen eine Wertung des Operationsergebnisses möglich ist.

Dazu wurden bei 57 Patienten und 31 Normalpersonen die ersten vier Obertöne mit der Methode der "best beats" gemessen.

Die Untersuchung ergab folgende Ergebnisse:

1. Gelingt durch die Operation die Wiederherstellung normaler Schalleitungseigenschaften, so kommt es parallel zu einer Normalisierung der Verzerrungen.

2. Bei Patienten mit einer Tympanoplastik Typ III, Amboßinterposition auf das Stapesköpfchen, ergeben sich bei geringer Schalleitungsstörung große Verzerrungen, besonders deutlich bei kleinen Lautstärken. Ursächlich ist eine zu lose Ankoppelung des Interponats.

   Ist die Schalleitungskomponente größer als 15 dB, sind die Verzerrungen gering. Die Ursache ist der zu große Spannungszustand des Interponats.

3. Bei Patienten mit Stapesplastik ist allgemein die Schwingungsfähigkeit des Mittelohrsystems vermindert, die Prothese steht unter zu großer Spannung.

8. Literaturverzeichnis

v.BÉKÉSY, G.: Über die nichtlinearen Verzerrungen des Ohres. Annalen der Physik, 5.Folge, Bd.2o, 8o9-827, 1934

BERENDES, J., LINK, R., ZÖLLNER, F.: HNO-Heilkunde. Bd.III, Teil 1 und 2, S.1212 f, 1966, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

BERENDES, J., LINK, R., ZÖLLNER, F.: HNO-Heilkunde. Bd.V, Ohr I, 194o-1943, 1979, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

BÖNNINGHAUS, H.-G.: HNO-Heilkunde. 3.Aufl., Berlin, Springer Verlag, 1974

CHAPIN, E.K., FIRESTONE, F.A.: The influence of phase on tone quality and loudness; the interference of subjective harmonics. J.Acous.Soc.Amer., 15, 173-18o, 1934

CRANE, H.D.: Mechanical impact and fatigue in relation to nonlinear combination tones in cochlea. Stanford Research Institute. Unpublished report, 1968

DAVIS, Ch.: Textbook of Surgery. Hg. Sabiston, D.C. 1oth ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 1972

ECKART, M.: Lehrbuch der HNO-Heilkunde. 3.Aufl., Leipzig: VEB Thieme, 1968

EGAN, J.P., KLUMPP, R.G.: The error due to masking in the measurement of aural harmonics by the method of best beats. J.A.S.A., Volume 23, Nr.3, 276-286, May 1951

FLETCHER, H.: A space-time pattern theory of hearing. J.A.S.A., 311-343, April 193o

FREY, H.H.: Erfahrungen bei der Bestimmung der "Verzerrungsschwelle". Archiv Ohren- usw. Heilk. u.Z. Hals- usw., Heilk. 181, 467-474, 1964

GOLDSTEIN, H.L.: Auditory nonlinearity. J.A.S.A., 41, 676-689, 1967

v.HELMHOLTZ, H.L.F.: Die Lehre von den Tonempfindungen für die Theorie der Musik. Braunschweig: Friedrich Vieweg u.Söhne, 1862

JANOVSKI, W.: Über die Hörbarkeit von Verzerrungen. Elek.Nachr.-Techn., 6, 421-439, 1929

KLUMPP, R.G., EGAN, J.P.: On the correspondence between the intensities of two tones for best beats. J.A.S.A., 113 f, 1951

KOCH, U., OPITZ, H.-J.: Tympanometrische Untersuchungen zur Beurteilung von gehörverbessernden Operationen. Laryng.Rhinol. 53, 629-637, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974

KUHL, W.: Über die Abhängigkeit der Lautstärke des subjektiven Differenztones von der Frequenz der Primärtöne.
Akustische Zeitschrift, 43-5o, Leipzig, 1939

LAWRENCE, M., YANTIS, P.A.: Onset and growth of aural harmonics in the overloaded ear.
J.A.S.A., Volume 28, Nr.5, 852-858, September 1956

LEHNHARDT, E.: Nichtlinearität des Mittelohres in: BERENDES/LINK/ZÖLLNER, Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde.
188, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1965

MOE, C.R.: An experimental study of subjective tones produced within the human ear.
J.A.S.A., Volume 13, 159-166, October 1942

NEWMAN, E.B., STEVENS, S.S., DAVIS, H.: Factors in the production of aural harmonics and combination tones.
J.A.S.A., Volume 9, 1o7-118, October 1937

OPITZ, H.J., KOCH, U.: Funktionelle Beurteilung von Tympanoplastiken.
Arch.klin.Ohr.-, Ns.u.Kehlk.Heilkunde, Bd.2o5, 221-226, Kongreßbericht, 1973

OPITZ, H.J., KOCH, U.: Postoperative Beurteilung von Stapes- und Tympanoplastiken durch die druckbedingte Hörschwellenverschiebung. Laryng.Rhinol.54, 477-485, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1975

PLOMB, R.: Detectability threshold for combination tones. J.A.S.A., 37, 111o-1123, 1965

SHAMBAUGH, G.E.Jr.: Surgery of the ear. 2nd ed. Philadelphia: W.B.Saunders, 1967

SORGE, F.: Der Entdecker der Kombinationstöne. Z.techn.Phys., 13, 223 ff, 1932

STEURER, W.: Lehrbuch der Hals-Nasen- und Ohrenheilkunde. 16.Aufl., München: J.F.Bergmann, 1969

STEVENS, S.S., DAVIS, H.: Hearing: Its psychology and physiology. New York: John Wiley and Sons, 196o

STUMPF, C.: Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft. H.1. Konsonanz und Dissonanz. Leipzig, 1898

TONNDORF, J.: Nonlinearities in cochlear hydrodynamics. J.A.S.A., 45, 3o4-3o5, 1969

TONNDORF, J.: Harmonic distortion in cochlear models. J.A.S.A., Volume 3o, 929-937, October 1958

TONNDORF, J.: Localization of aural harmonics along the basilar membrane of Guinea Pigs. J.A.S.A., Volume 3o, 938-943, October 1958

TRENDELENBURG, E.: Einführung in die Akustik 38-42, 449 ff, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1961

WARREN, H.H., EGAN, J.P.: On the accuracy of the method of best beats for determining the intensity of a tone. J.A.S.A., Volume 23, 111-113, January 1951

WEGEL, R.L., LANE, C.E.: The auditory masking of one pure tone by another and its probable relation to the dynamics of the inner ear. Phys.Rev., 23, 266-285, 1924

WEVER, E.G., BRAY, C.W., LAWRENCE, M.: The locus of distortion in the ear. J.A.S.A., 11, 427-433, 194o

WEVER, E.G., BRAY, C.W., LAWRENCE, M.: The effect of middle ear pressure upon distortion. J.A.S.A., Volume 13, 182-187, October 1941

WEVER, E.G., BRAY, C.W.: Distortion in the ear as shown by electrical responses of the cochlea. J.A.S.A., Volume 9, 227-233, January 1938

WULLSTEIN, H.: Vortrag auf der 2o.Jahresvers.d. Dt.HNO-Ärzte in Karlsruhe 1.-4.6. 1949, Zentralblatt für Hals-Nasen- u.Ohrenheilkunde, 39, 8, 1949

WULLSTEIN, H.: Operationen zur Verbesserung des Gehöres. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1968

ZÖLLNER, F.: Die Radikal-Operation mit besonderem Bezug auf die Hörfunktion. z.Laryng.usw., 3o, 1o4-111, 1951

ZWICKER, E.: Der ungewöhnliche Amplitudengang der nichtlinearen Verzerrungen des Ohres. Acustica, 5, 67-74, 1955

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. J. Opitz
für die Überlassung des Themas .
Herrn Dr. H. von Wedel danke ich besonders
für die freundliche Unterstützung bei der
Durchführung dieser Arbeit .

9. Lebenslauf

Persönliches:	Ralph Peter Grimm, geboren am 14. Oktober 1951, in Lüneburg, Eltern: Rudolf Grimm und Ehefrau Elisabeth, geb. Endlein
Schulbildung:	1958 - 1962 Gemeinschaftsschule Wetter, 1962 - 197o Mathematisch-Naturwissen- schaftliches Gymnasium Wetter/Ruhr, 18. Juni 197o Reifezeugnis
Praktikum:	Juli - Dezember 197o Städtische Kranken- anstalten Dortmund
Wehrdienst:	4. Januar 1971 - 1o. April 1972 Bundes- marine
Studium:	1o. April 1972 Immatrikulation FU Berlin, Naturwissenschaftliche Vorprüfung am 28. März 1973, Ärztliche Vorprüfung am 1o. September 1974, WS 1974 Immatrikulation Universität Bonn, Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung am 29. August 1975, Famulatur Newcastle/Australien 1977, Zweiter Abschnitt am 26. August 1977, Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung am 19. Oktober 1978 in Bonn,
Berufliches:	Seit 1. Dezember 1978 Assistenzarzt am Institut für Anaesthesiologie Bonn.

Dissertationsdruck M. Wehle
Hauptstraße 240, 5305 Witterschlick/Bonn, Ruf 0228–641113